

Rapport de mission à la Réunion

FINALISATION DE L'ETUDE DU COMPORTEMENT
ECONOMIQUE DES ELEVEURS LAITIERS A LA REUNION-
TRANSFERT DE L'OUTIL A LA COOPERATIVE ET
PERSPECTIVES

du 1 au 8 février 2004

Par

Véronique Alary

Rapport CIRAD-EMVT N°2004-06

Avril 2004



Cirad-Emvt
TA 30/ A
Campus international de Baillarguet
34398 Montpellier Cedex 5
FRANCE

© CIRAD-EMVT 2004

Tous droits de traduction, de reproduction par tous procédés, de diffusion
et de cession réservés pour tous pays.

AUTEUR(S) : Véronique Alary

ACCES AU DOCUMENT :

- Service de Documentation du Cirad
(bibliothèque de Baillarguet)

ORGANISME AUTEUR : Cirad -Emvt

ACCES A LA REFERENCE DU DOCUMENT : Sica lait, Cirad

ETUDE FINANCEE PAR : Cirad - Pôle Élevage

REFERENCE : OM 009

AU PROFIT DE : LA REGION

TITRE : FINALISATION DE L'ETUDE DU COMPORTEMENT ECONOMIQUE DES ELEVEURS LAITIERS
A LA REUNION- TRANSFERT DE L'OUTIL A LA COOPERATIVE ET PERSPECTIVES

TYPE D'APPROCHE : Modèle linéaire

DATE ET LIEU DE PUBLICATION : Avril 2004, Montpellier, France

PAYS OU REGIONS CONCERNES : La Réunion

MOTS CLES : Elevage laitier, Modèle linéaire, modèle multi objectifs, interface

RESUME :

Cette mission a été réalisée dans le cadre de l'opération de modélisation économique des exploitations bovines, programmée dans les activités de recherche du contrat de Plan Etat-Région (CPER) 2000-2006. Les objectifs de la mission étaient : 1) Restitution des principaux résultats de recherche accumulés entre juin 2000 et janvier 2004 à la Coopérative Laitière (SICA lait) et ajustement de l'interface ; 2) Discussion sur l'approche de la composante environnement dans le modèle de comportement avec l'exemple de la gestion des effluents ; 3) Discussion des nouvelles perspectives de l'opération ELE 105 avec l'arrivée de Matthieu Gousseff comme responsable de l'opération.

La présentation à la coopérative de l'interface du modèle de programmation mathématique, représentant le comportement de 6 exploitations laitières à La Réunion, accompagnée d'un document de synthèse, constitue pour la coopérative une étape finale concernant le développement de l'outil, qui pourrait participer à la négociation ou du moins à la préparation des dossiers de demande de soutiens que ce soit au niveau national ou communautaire (Europe). A partir de la réflexion conduite sur la gestion des effluents (Gousseff, 2002 ; Alary *et al.*, 2003), des perspectives d'évolution se dessinent qui concernent à la fois un approfondissement du processus de décision des éleveurs face à l'innovation ou le conseil technique et la prise en compte de la dimension régionale pour prendre en compte les possibilités d'échange et de compensation, notamment dans la gestion des effluents, au niveau de l'île.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION : OBJECTIFS DE LA MISSION	4
II. ETAT D'AVANCEMENT DU RAPPORT DE SYNTHESE ET DE L'INTERFACE	4
III. PRISE EN COMPTE DES QUESTIONS LIEES A LA GESTION DES EFFLUENTS DANS LE MODELE	7
IV. QUELQUES PERSPECTIVES POUR L'OPERATION ELE105	19
V. CONCLUSION	23
VI. PERSONNES RENCONTREES	23
VII. BIBLIOGRAPHIE	24

I. INTRODUCTION : OBJECTIFS DE LA MISSION

La mission a été réalisée dans le cadre de l'opération de modélisation économique des exploitations bovines, programmée dans les activités de recherche du contrat de Plan Etat-Région (CPER) 2000-2006.

Les objectifs de la mission étaient :

- 1) Restitution des principaux résultats de recherche accumulés entre juin 2000 et janvier 2004 à la Coopérative Laitière (SICA lait) et ajustement de l'interface ;
- 2) Discussion sur l'approche de la composante environnement dans le modèle de comportement avec l'exemple de la gestion des effluents ;
- 3) Discussion des nouvelles perspectives de l'opération ELE 105 avec l'arrivée de Matthieu Gousseff comme responsable de l'opération.

II. ETAT D'AVANCEMENT DU RAPPORT DE SYNTHESE ET DE L'INTERFACE

Le rapport de synthèse est un document qui reprend l'ensemble des travaux de recherche entrepris depuis juin 2000 dans l'Opération ELE 105. Il s'agit essentiellement d'un travail de synthèse à destination de la coopérative laitière, la SICA lait, mais en aucun cas d'un travail de recherche pour la recherche. Ce rapport n'a pas aussi vocation à être diffusé. Il s'agit juste de restituer les connaissances accumulées au cours des trois années de recherche sur l'économie des élevages laitiers. Mais celui-ci pourrait faire l'objet d'une révision pour un autre type de diffusion.

Le deuxième objectif poursuivi par ce rapport est de fournir à la coopérative un outil d'aide à la décision. Pour cela on se propose de décrire à la fois la façon dont a été représenté le mode de fonctionnement des exploitations dans le modèle et d'explicitier l'ensemble des hypothèses qui doivent participer à la lecture et l'analyse des résultats de simulation. Donc un des enjeux poursuivis est de fournir les clés pour l'interprétation des résultats de simulation dans le cadre d'analyses prospectives.

Le rapport de synthèse se structure en 5 parties qui correspondent aux différentes étapes du projet (Voire encadré) :

- 1) Problématique.
- 2) Approche de la diversité des systèmes d'exploitation laitière à La Réunion - Décomposition des systèmes d'exploitation.
- 3) Hypothèses et reconstruction du système d'exploitation dans le modèle.
- 4) Validation et exemples de simulation.
- 5) Interface.

Rapport de synthèse

- I. Introduction : Problématique de recherche et de développement
 - I.1. Quelques faits marquants du développement laitier à La Réunion
 - I.2. Des questions pour la recherche et le développement
 - II. Approche de la diversité des systèmes d'élevage laitiers à la Réunion
 - II.1. Approche méthodologique de la diversité
 - II.1.1. L'échantillonnage : une approche raisonnée
 - II.1.2. Système d'enquêtes
 - II.1.3. Méthode typologique
 - II.2. Présentation de la diversité des systèmes d'exploitations laitières
 - II.3. Analyse économique et financière des différents systèmes
 - II.3.1. Structure des charges d'élevage
 - II.3.1. Etude de la rentabilité comparée et de la viabilité économique
 - II.3.1. Solidité des exploitations et solvabilité
 - II.4. Approche spatiale et temporelle de l'évolution des exploitations
 - II.4.1. Problématique de l'étude des trajectoires à l'échelle de l'île
 - II.4.2. Extension de la classification à l'échelle régionale
 - II.4.3. Approche de la solidité des types d'exploitation identifiés
 - II.4.4. Approche de la trajectoire des exploitations entre 1999 et 2002
 - III. Construction d'un outil d'aide à la décision
 - III.1. Choix de l'approche de modélisation
 - III.2. Description globale du modèle : Hypothèses et Structure
 - III.2.1. Un peu d'histoire
 - III.2.2. Principes des modèles de programmation linéaire
 - III.2.3. Structure du modèle laitier réunionnais
 - III.3. Approche du système bio-technique
 - III.3.1. Facteur terre : contrainte occupation du sol
 - III.3.2. Dynamique du troupeau
 - III.3.3. Contrainte d'alimentation
 - III.3.4. Facteur travail : contrainte de main d'œuvre
 - III.3.5. Facteur capital : contrainte de traction mécanique
 - III.3.6. Contraintes bâtiments
 - III.4. Approche du système socio-économique et financier
 - III.4.1. Contraintes liées aux emprunts
 - III.4.2. Contraintes de trésorerie
 - III.4.3. Contraintes réglementaires liées au système d'aides
 - IV. Résultats du modèle : Situation de référence et exemples de simulations
 - IV.1. Définition de la situation de référence
 - IV.1.1. Comparaison des résultats simulés et résultats observés
 - IV.1.2. Définition de la situation de référence
 - IV.2. Exemples de simulations
 - IV.2.1. Impacts des mesures d'encouragement à l'élevage des génisses
 - IV.2.2. Sensibilité différenciée des éleveurs à un changement du système de prix du lait
 - IV.2.3. Mise en place de contraintes environnementales
 - V. Utilisation de l'interface
-

Cette synthèse sera améliorée avec les suggestions des agents de la coopérative mais aussi les remarques et commentaires des chercheurs du CIRAD-Pôle Elevage.

L'interface en cours de réalisation est réalisée sur Visual Basic et ce avec l'aide d'un informaticien tunisien. Elle comprend un menu simple avec 5 composantes :

- (i) Exploitation : l'agent choisit le type d'exploitation qu'il souhaite modéliser.
- (ii) Scénarios : l'agent introduit un changement dans les paramètres pour simuler l'impact de ce changement sur le type d'exploitation. Les paramètres sont classés en 8 types :
 - 1) Région : paramètres concernant la terre disponible en location pour chaque zone géographique.
 - 2) Matériel : les charges et durée d'utilisation pour chaque type de matériel.
 - 3) Système fourrager : besoin en fertilisation des différents types de prairies, les rendements et la valeur alimentaire des produits récoltés, les coûts d'implémentation et d'entretien des prairies.
 - 4) Mécanisation : besoin de mécanisation des prairies.
 - 5) Travail : besoin en travail pour les opérations concernant à la fois les prairies et l'élevage laitier.
 - 6) Dotation initiale : Structure initiale de l'exploitation (système prairial, stock animal, matériel disponible, etc.).
 - 7) Système d'élevage : besoins des animaux, taux de reproduction, taux de réforme, etc.
 - 8) Economie : prix et variation de prix des produits et des intrants, aides et primes.
- (iii) Exécution : l'agent appuie sur la touche GAMS pour faire tourner le modèle.
- (iv) Résultats : les résultats sont tous repris dans un fichier Excel animé par un menu.
 - 1) Foncier disponible et aménagement,
 - 2) Système fourrager et mode de récolte,
 - 3) Bilan fourrager par an et par saison (en tonnes),
 - 4) Effectif cheptel par an et par saison,
 - 5) Utilisation du travail,
 - 6) Ration alimentaire en % de MS,
 - 7) Compte d'exploitation,
 - 8) Charges d'exploitation,
 - 9) Etat financier (épargne et crédit),
 - 10) Ratios de rentabilité et de stabilité,
 - 11) Bilan et efficacité azotés.
- (v) Aide (lexique).

L'interface va être testée par trois agents de la coopérative en vue de la rendre plus conviviale au sein de la coopérative. L'amélioration de l'interface devrait s'achever fin mars 2004. Se pose déjà la question de la prise en charge de l'interface au niveau réunionnais pour la faire évoluer en fonction des besoins des agents de la coopérative ou du moins répondre à leur attente quand se pose un problème de fonctionnement. Différentes propositions ont été émises :

- 1) Une mission d'un informaticien du programme Productions Animales en Tunisie pour s'approprier l'interface et la transférer dans un second temps à la coopérative laitière ;
- 2) Une mission de Matthieu Gousseff en Tunisie pour s'approprier l'interface et en faire ensuite un outil de dialogue avec la coopérative et les producteurs ;

- 3) Soit une mission d'un autre chercheur ou technicien réunionnais en Tunisie qui pourrait jouer un rôle d'appui auprès de la coopérative.

S'est posée aussi la question du nom de l'outil. Une première proposition a été faite par Emmanuel Tillard : AMSTEL pour Aide à la Modélisation et la Simulation Technique et Economique des Exploitations Laitières à La réunion. Les propositions restent ouvertes.

III. PRISE EN COMPTE DES QUESTIONS LIEES A LA GESTION DES EFFLUENTS DANS LE MODELE

Une première approche des questions de gestion agro-écologique dans le cadre du modèle de comportement des exploitations laitières avait été proposée au cours du Symposium régional sur les Ruminants qui s'est tenu à la Réunion en juin 2003, et qui a donné lieu à une présentation collective intitulée : « Comment intégrer la durabilité agro-écologique des systèmes d'élevage laitiers à La réunion à partir de modèles de comportement élaborés par programmation mathématique ? ». Ces approches proposées ont été rediscutées avec M. Gousseff alors que les paramètres utilisés pour l'approche du bilan azoté comme de l'alternative technique telle que le compost ont été affinés avec Philippe Lecomte.

III.1. Discussion sur les paramètres et les hypothèses pour l'introduction de l'alternative compost dans la gestion des effluents

Les différents paramètres utilisés dans le modèle pour l'approche du bilan azoté sont repris dans l'encadré 2. Pour l'activité compost et en l'absence de données précises sur l'île, on se propose de faire une série d'hypothèses dans le modèle :

- (i) Hypothèse 1 : Une vache produit 17 m^3 de fumier par an soit l'équivalent de 9 m^3 de compost par an. Le compost a une densité de 0,650 ce qui fait qu'une vache produit 5,8 tonnes de compost/an.
- (ii) Hypothèse 2 : Pour prendre compte le fait qu'il existe des différences entre exploitations selon le mode de conduite de l'élevage en stabulation ou au pâturage, on se propose d'affecter des coefficients de production de fumier selon la durée passée à l'étable. Pour les exploitations sur fortes contraintes foncières (exploitations de la Plaine des Grègues, Grand coude (type 1), exploitations hors sol (Type 4), petites exploitations (type5)), on affecte un coefficient de 0.75 ; 0,3 pour les exploitations sur pâturage ; 0,5 pour les grandes exploitations de la Plaine des Cafres et de la Plaine des Palmistes qui ont un système mixte pâturage/stabulation.
- (iii) Hypothèse 3 : Le compost contient en moyenne 7 unité N soit 7 kg/tonne. On suppose que seulement 30% de l'azote apporté par le compost a une propriété fertilisante la première année, et en tenant compte des arrières effets cette valeur passe à 35% la deuxième année, 40% la 3^{ième} année, 45% la 4^{ième} année et 50% la 5^{ième} année.

- (iv) Hypothèse 4 : Pour faire du compost, il faut ajouter 12 kg de paille par jour et par UGB, soit 4,38 Tonnes par an et par UGB. A la Réunion, une balle de 212 kg coûte 120 F, soit 0,56 F/kg (ou encore 8,6 centimes d'Euro /kg).
- (v) Hypothèse 5 : une vache ou un taureau est l'équivalent de 1 UGB ; génisse de plus de 18 mois=0,8 UGB ; génisse et taurillon entre 6 mois et 18 mois=0,6 UGB.
- (vi) Hypothèse 6 : maximum épandage compost/ha= 24 Tonne/ha. Donc on suppose que l'exploitant étend 24 tonnes/ha sur les terres mécanisées et complète par des engrais minéraux pour satisfaire les besoins en NPK en fonction de son mode de gestion.
- (vii) Hypothèse 7 : possibilité de vente du compost à 400 FF/ m³, soit 580 F/tonne.

ENCADRE N°2

Bilan azoté

Entrées azotées

Achat concentrée/fourrage :

Quantité concentré/fourrage acheté *Valeur PDIN*16% de nitrogène par MAT unité/80% de digestibilité

Fertilisation :

Surface terre *Fertilisation chimique de fonds et après chaque coupe* Quantité N/kg de fertilisants
(Ceci pour chaque type de fertilisants achetés)

Achat animaux :

Génisse gestante : 450 kg

Jeune entre 6 mois et 24 mois : 360 kg en moyenne

Veau male ou femelle de moins de 6 mois : 90 kg

Poids des animaux*50% de muscle*28% de protéine /(6,25 N/kg de protéine)

Sorties azotées

Vente concentrée/fourrage :

Quantité concentré/fourrage vendue *Valeur PDIN*16% de nitrogène par MAT unité/80% de digestibilité

Vente lait :

Production de lait*4,5% de protéine/kg de lait/6,03 de N par kg protéine

Vente animaux :

Vaches de réforme : 600 kg

Jeune entre 6 mois et 24 mois : 480 kg en moyenne

Veau male ou femelle de moins de 6 mois : 90 kg

Poids des animaux*50% de muscle*28% de protéine /(6,25 N/kg de protéine)

Vente compost :

Quantité de compost vendu (en tonnes)*7 kg N/tonne de compost

III.2. Discussion sur les formes de modélisation prenant en compte plusieurs objectifs

Dans un deuxième temps, ont été rediscutées les approches de programmation mathématique qui incorporent plusieurs objectifs telles que les modèles de types Goal Programming (Charnes et Cooper, 1961 ; Lee, 1972) ou les Modèles Multi-Objectifs (Romero et Rehman, 1989). Ces modèles présentent l'avantage de maintenir la structure de représentation du comportement des exploitants tout en intégrant plusieurs objectifs dans la fonction d'utilité, donc la fonction à maximiser ou minimiser. Ainsi on peut supposer que les éleveurs cherchent à maximiser leur revenu disponible (accroissement du bien être) tout en diminuant le bilan azoté (objectif d'assurer la durabilité de leur système).

Dans la méthode GP (Goal Programming), il s'agit de résoudre les problèmes comprenant plusieurs buts ou objectifs à satisfaire. Cette méthode permet de minimiser la déviation entre le niveau espéré de chaque objectif et la réalisation. Appliquée à notre objet étude, on peut supposer que l'éleveur cherche à :

- (1) maximiser son revenu disponible
- (2) minimiser l'excès azoté

Ces 2 objectifs sont transformés en buts $b_i (i=1,2)$ et incorporés dans un modèle GP. Dans un premier temps pour chaque but, il est nécessaire de spécifier les valeurs à satisfaire. On suppose x les activités telles que : x_1 : achat des animaux, x_2 : achat des concentrés, x_3 : achat des fertilisants, x_4 : achats des aliments fourragers, x_5 : vente des animaux, x_6 : vente des aliments fourragers, x_7 : vente du lait, x_8 : vente de compost. Soit p_i le prix de chaque item et a_i : la qualité d'azote pour chaque item. Les fonctions relatives à chaque objectif s'écrivent :

(1)

$$B_1 = \sum_{i=1}^T p_5 x_5 + p_6 x_6 + p_7 x_7 + p_8 x_8 - p_1 x_1 - p_2 x_2 - p_3 x_3 - p_4 x_4 + n_1 - p_1 = \text{RevenuObjectif}$$

$$(2) B_2 = \sum_{i=1}^T \frac{(a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 - a_5 x_5 - a_6 x_6 - a_7 x_7 - a_8 x_8)}{SAU} + n_2 - p_2 = \text{ExcèsN}$$

Pour chaque but, deux variables sont incluses : n_i qui mesure l'écart négatif à la valeur à satisfaire et p_i qui mesure l'écart positif à cette valeur. Le principe de cette méthode (GP) est de minimiser les déviations par rapport aux valeurs à satisfaire ; en d'autre terme minimiser n_i lorsque l'objectif est à maximiser ou minimiser p_i lorsque l'objectif est à minimiser

Si l'on suppose que, pour un type d'exploitation, son revenu seuil annuel est fixé sur la base de son revenu dans la situation de référence et le seuil pour l'excès azoté est de 150 kg/hectare, en pondérant proportionnellement les déviations par rapport à chaque but, l'objectif recherché revient à minimiser la somme des variables de déviation de chaque objectif, soit :

$$(4) U = \alpha_1 \frac{n_1}{\text{Revenuseuil}} \cdot 100 + \alpha_2 \frac{p_2}{\text{ExcèsNseuil}} \cdot 100$$

Si l'on suppose que tous les objectifs sont d'importance égale dans la prise de décision des éleveurs, on calcule les valeurs optimales des déviations n_i et p_i pour $\alpha_1 = \alpha_2$. En changeant le rapport des α_i , on peut analyser le poids des objectifs environnementaux dans la prise de décision des éleveurs. Le principal inconvénient de cette méthode est la fixation de valeurs à satisfaire dans le processus de décision.

Cependant cette formule finale (4) est difficile à comprendre ou du moins n'est pas intuitive. Après réflexion, a été proposée une nouvelle formule par M. Gousseff qui a l'avantage d'être facile à expliquer. Pour toute variable à maximiser, par exemple le revenu, on considère le terme suivant (5) que l'on cherche à maximiser :

$$(5) \text{ Obj}_1 = \left(\frac{R^*}{R^s} - 1 \right)$$

Avec R^* : la variable à optimiser (par exemple, le revenu) et R^s : le seuil de la variable si possible à dépasser (qui serait dans notre exemple le revenu minimum ou le revenu que se fixe l'exploitant).

Pour toute variable à minimiser, par exemple le bilan azoté, on utilise un terme de la forme suivante que l'on cherche à maximiser :

$$(6) \text{ Obj}_2 = \left(1 - \frac{N^*}{N^s} \right)$$

Si N est le bilan azoté, alors soit N^* le bilan azoté optimal (à calculer) et N^s le bilan azoté seuil que l'on cherche à ne pas dépasser.

Donc l'objectif global de l'exploitant –qui est une fonction à maximiser – peut s'écrire :

$$(7) \text{ Obj}_1 = \alpha_1 \left(\frac{R^*}{R^s} - 1 \right) + \alpha_2 \left(1 - \frac{N^*}{N^s} \right)$$

L'approche des modèles multi-objectifs a déjà été décrite dans un rapport de mission (Alary V., 2003).

III.3. Construction des scénarios

La transformation du fumier en compost sur l'exploitation a un coût qui comprend :

- 1) l'addition de paille et le traitement,
- 2) besoin de mécanisation,
- 3) temps de travail pour le raclage et le retournement à la ferme mais aussi l'épandage,
- 4) parfois investissement dans de nouveaux bâtiments.

A partir de différentes études conduites en France métropolitaine mais aussi les prix et coûts en vigueur à la Réunion, on a essayé de reconstruire le coût de production d'une tonne de compost (table 1).

Ensuite, on a préféré recourir à une série d'hypothèses sur le coût du compost qui vont constituer autant de scénarios dans le modèle pour approcher l'intérêt à la fois économique (viabilité) et environnemental (durabilité) du compost, considéré comme une innovation technologique dans le modèle.

Table 1 : Estimation du coût du compost

Item	Calcul
Coût de traitement	59 F/tonne (Hypo : 340 FF/vache/an)
Paille	<p>Hypo1 pour le compostage de fumier: - il faut 4,38 T de paille/UGB/an. Comme 1 UGB produit 5,8 T de compost/an, ceci donne 0,75Tonne de paille par tonne de compost - 0,75 tonne de paille/tonne de compost*594 F/tonne de paille = 445 F/tonne de compost</p> <p>Hypo2 pour le compostage de lisier : - 3 tonnes de paille pour 30 tonnes de compost soit 0,1 tonne de paille/tonne de compost = 59,4 F/tonne de compost</p>
Mécanisation (tracteur, retourneur)	15 F/m ³ de compost = 23 F/tonne de compost
Travail quotidien étable	Paillage (20 minutes/jour/60 UGB)=19,3 minutes/tonne de compost Raclage (45 minutes/jour/60 UGB)= 43,45 minutes/tonne de compost Total : 1 heure/tonne de compost
Surplus de travail/ par rapport à un chantier de fumier ou lisier normal pour l'épandage	<p>Pour 24 tonnes de compost/hectare, on a : Mise en andain sur plate forme : 40 minutes/ha Retournement de l'andain : 2 heures 50/ha Temps de chargement : 35 min/ha Gain de temps pour transport et épandage : 1h50</p> <p>Total temps : 40 min. + 2heures 50+35 min. -1h50 soit 2 heures 15 min/ha soit encore 5,65 min/tonne de compost</p> <p>Ou encore 0,094 heure/tonne de compost</p>
Amortissement	Voisin de 891 F/UGB/an soit 153 F/tonne de compost
Coût service compost (tracteur, chauffeur, retourneur)	30 à 50 F/UGB (Aveyron) soit en moyenne 7 F/tonne de compost
Hypothèse forte sans amortissement	534 F/tonne= 81,5 euro/ tonne en moyenne
Hypothèse forte AVEC amortissement	687 F/tonne= 105 euro / tonne en moyenne
Hypothèse moyenne sans amortissement (prix de la paille métropole : 0,15 F/kg)	201F/tonne=30 euro/tonne
Hypothèse moyenne AVEC amortissement	354 F/tonne=54 euro/tonne

III.4. Quelques résultats de simulation

1) Hypothèse 1 : Maximisation du revenu disponible sous contrainte de ne pas dépasser un seuil d'azote par ha

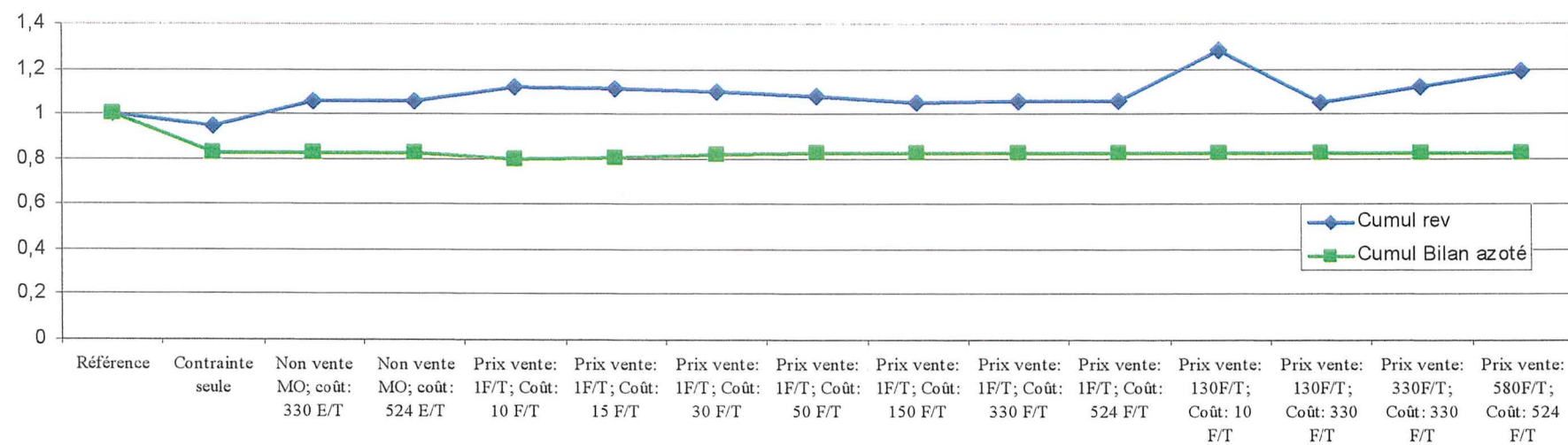
Dans le scénario « Contrainte seul » (figure 1), on impose une contrainte sur le bilan azoté sans introduire d'alternative pour réguler les flux d'azote au sein de l'exploitation. Dans ce contexte l'exploitant maintient un troupeau moyen de 48 vaches laitières, au lieu de 53 dans la situation de référence. Ainsi il satisfait le seuil azoté mais enregistre une diminution de revenu disponible de 5%.

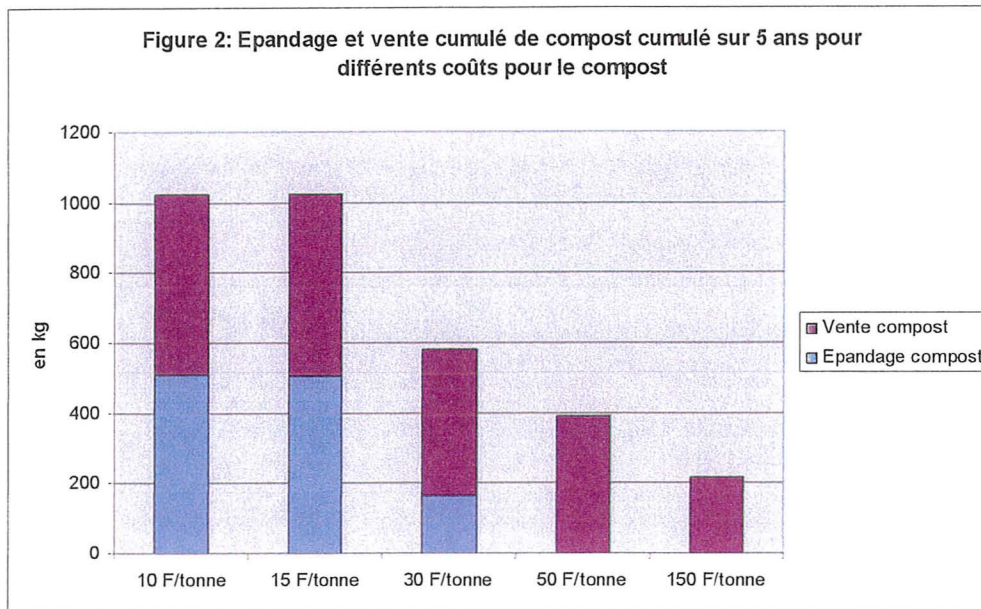
Lorsqu'on introduit une alternative technique pour gérer le surplus azoté comme la fabrication de compost (coût de fabrication de 330 F/tonnes soit 50 euro/tonne) sans pour autant introduire de débouché extérieur à l'exploitation (Scénario : « Non vente MO ; Coût 330 F/T »), l'exploitant ne réalise pas de compost et ajuste son exploitation à la contrainte relative au seuil en azote en maintenant son troupeau autour de 48 vaches laitières (figure 1).

Dans les scénarios : « Prix de vente : 1F/T ; coût : 10 F/T à 534 F/T (soit 80 euros) », on suppose un prix de vente dérisoire du compost sur le marché extérieur et un coût progressif du compost. On note que, au fur et à mesure que le coût du compost diminue, le revenu disponible de l'exploitant augmente par rapport à la situation de référence alors que le bilan azoté diminue (figure 1). Mais l'exploitant n'utilise le compost sur ses terres uniquement pour un prix de moins de 30 F/tonne (figure 2). Au-delà de 30 F/T, le compost lui sert uniquement à réguler le surplus azoté sans trop limiter la croissance du cheptel laitier.

Dans le scénarios « Prix vente : 130 F/tonne (20 euros) à 580 F/tonne (88 euros) ; Coût 10 F/T à 524 F/T (80 euros) » (figure 1), on introduit la valorisation du compost. Au coût de production de 10 F/T, bien évidemment tout le compost produit est vendu et l'exploitant enregistre une augmentation importante de son revenu disponible. Aussi pour une valorisation du compost au prix de 88 euros/tonne sur le marché et un coût de production de 80 euros, le compost produit est largement valorisé à l'extérieur. Lorsqu'on suppose un prix de vente et de production du compost de 330 F/tonne, l'éleveur produit progressivement du compost pour la vente.

Figure 1: Déviation du revenu disponible et du bilan azoté cumulés sur 5 ans pour différents scenarios





En résumé, le compost constitue une alternative technique pour la gestion azotée si l'exploitant peut le valoriser sur le marché extérieur. Par contre, au prix actuel des fertilisants, il faudrait un coût de moins de 5 Euros /tonne pour qu'il y ait une utilisation sur l'exploitation.

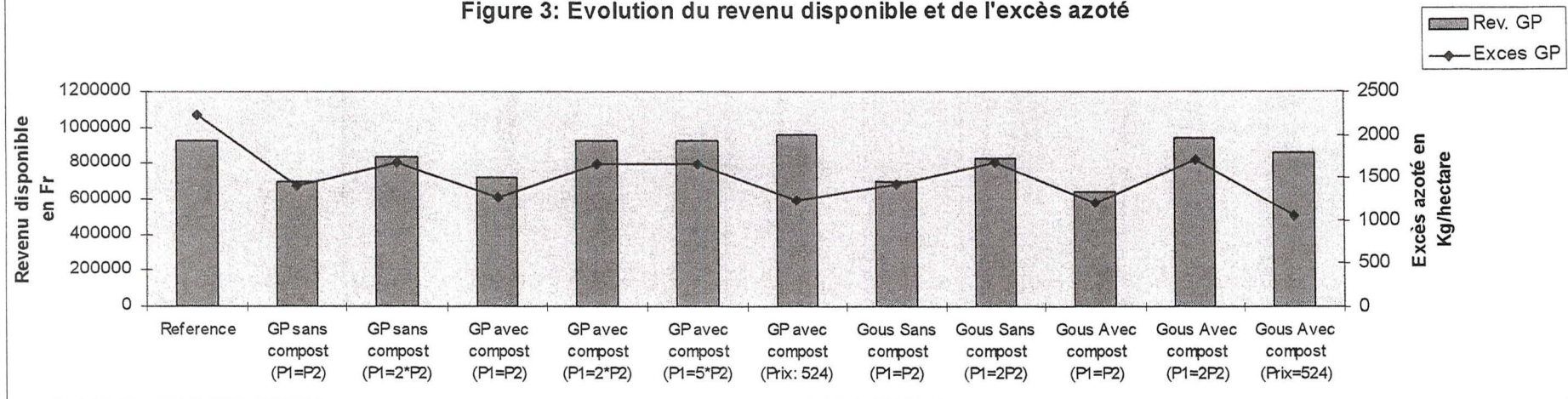
2) Hypothèse 2 : Approche « Goal Programming »

Dans la figure 3, sont représentés le revenu disponible et le bilan azoté cumulés sur les 5 années de l'horizon de planification pour différents scénarios. On a testé d'abord l'approche classique Goal Programming avec et sans compost et pour différents poids pour chaque objectif dans la fonction objectifs. Avec p_1 : le poids de l'objectif revenu et p_2 : le poids de l'objectif du bilan azoté, on suppose trois principales variantes :

- $p_1 = p_2$: le poids des deux objectifs est identique,
- $p_1 = 2 \cdot p_2$: l'objectif revenu est deux fois plus important que l'objectif du bilan azoté,
- $p_1 = 5 \cdot p_2$: l'objectif revenu est cinq fois plus important que l'objectif du bilan azoté.

On note tout d'abord qu'il existe une combinaison de solution qui permet de satisfaire à la fois les deux objectifs mais ce à des degrés divers. En règle générale, l'alternative compost (simulé au prix de production de 524 F/tonne, soit 80 euros, et au prix de vente de 580 F/t, soit 88 euros) permet de satisfaire l'objectif de minimisation du bilan azoté avec une plus légère diminution du revenu disponible par rapport à la situation sans compost. A l'exception du scénario « Gous Sans compost $P_1 = P_2$ », les résultats des deux formules (la formule classique de la méthode Goal Programming et la formule de M. Gousseff) sont très proches.

Figure 3: Evolution du revenu disponible et de l'excès azoté



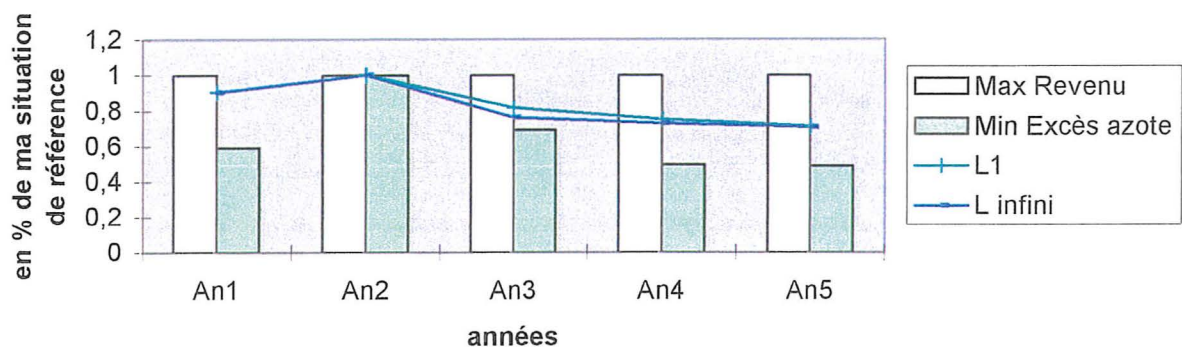
2) Hypothèse 3 : Modèle multi-objectif

Les figures 4 et 5 montrent qu'ils existent des solutions de compromis qui permettent de diminuer le bilan azoté entre 20 et 30% selon les années avec une diminution du revenu disponible entre 10 et 20% par rapport à la situation de référence.

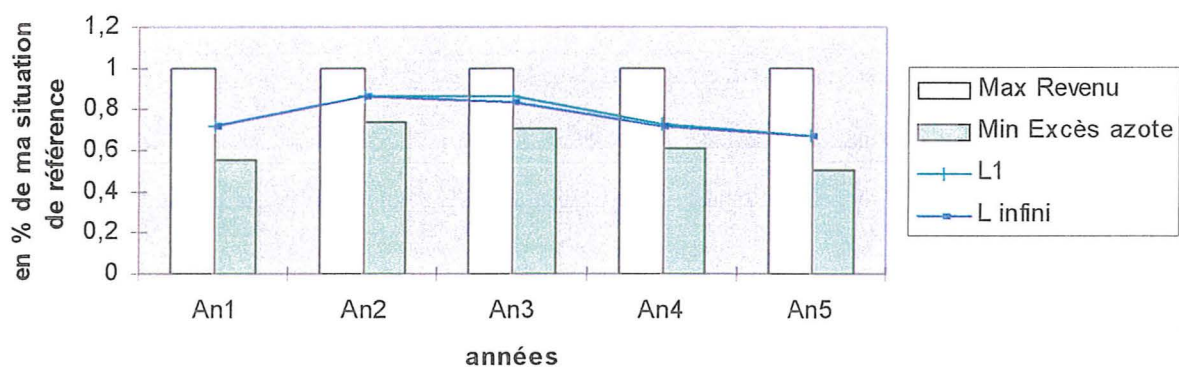
Avec l'introduction du compost (coût de production : 330 F/tonne (50 euro/tonne) et prix de vente : 130 F/T (20 euro/tonne)), on trouve des solutions avec un bilan azoté très faible (moins de 40% par rapport à la situation sans alternative compost), mais une baisse de revenu plus importante par rapport à la situation de référence (de moins de 40%).

La valorisation du compost au prix actuel pratiqué à La Réunion (soit 88 euros/tonne soit 580 F), même pour un coût de 80 euro/tonne, permet de diminuer le bilan azoté de plus de 40% avec une baisse de revenu de moins de 25% par rapport à une situation de référence où il croît.

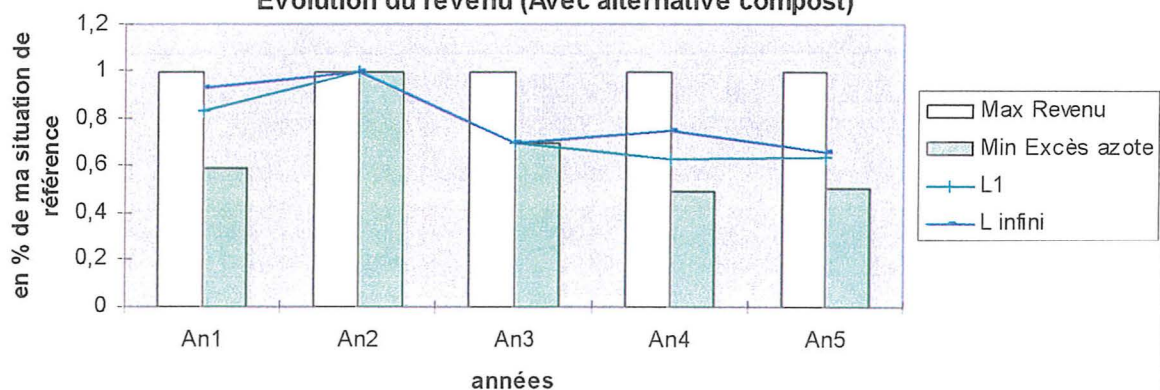
**Figure 4: Méthode de compromis pour une exploitation laitière-
Evolution du revenu (sans alternative compost)**



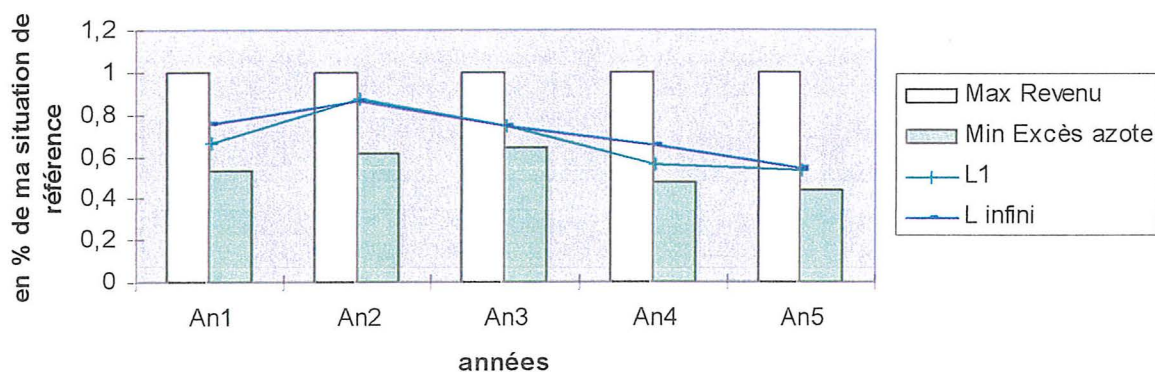
**Figure 5: Méthode de compromis pour une exploitation laitière-
Evolution du bilan azoté (sans alternative compost)**



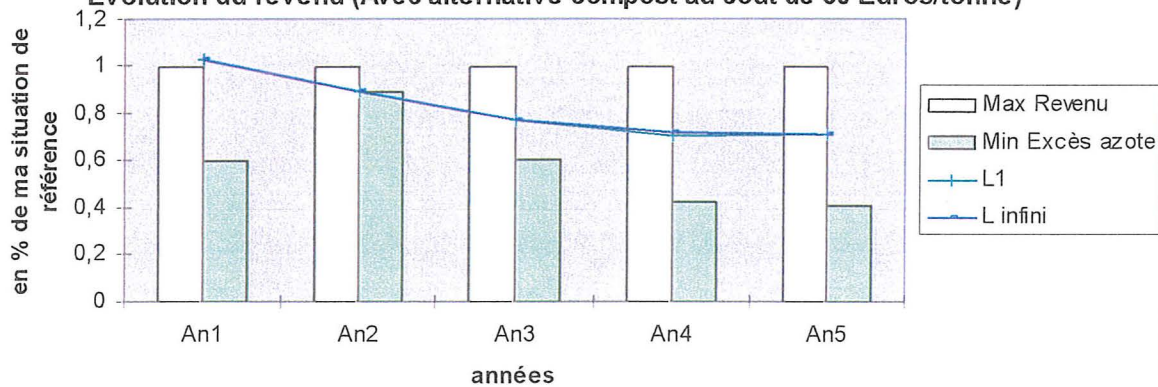
**Figure 6 : Méthode de compromis pour une exploitation laitière-
Evolution du revenu (Avec alternative compost)**



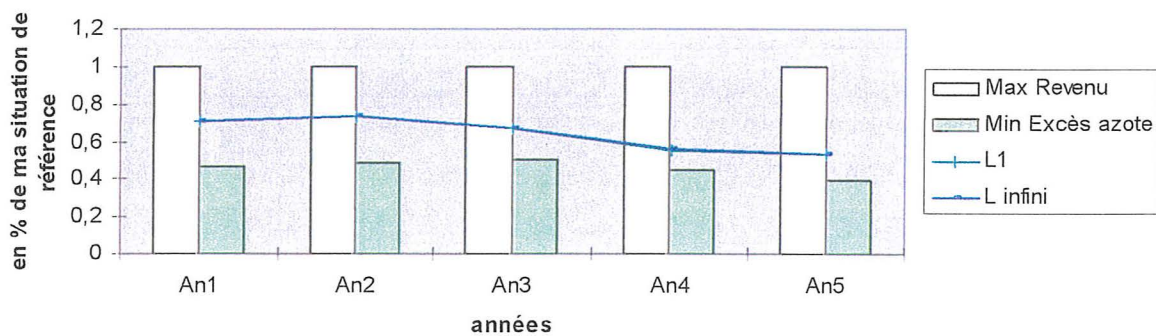
**Figure 7 : Méthode de compromis pour une exploitation laitière-
Evolution du bilan azoté (avec alternative compost)**



**Figure 8 : Méthode de compromis pour une exploitation laitière-
Evolution du revenu (Avec alternative compost au coût de 80 Euros/tonne)**



**Figure 9 : Méthode de compromis pour une exploitation laitière-
Evolution du bilan azoté (avec alternative compost au coût de 80 euro/tonne)**



Dès lors ces approches offrent des possibilités intéressantes pour dépasser le stade de l'optimisation basé sur un seul objectif. Plus généralement, cette approche peut être un moyen de tester la façon dont les éleveurs prennent en compte les différentes fonctions assignées à l'agriculture, notamment dans le contexte étudié, les fonctions de production, d'environnement et les fonctions sociales d'emploi. Cependant, on peut déjà noter l'extrême sensibilité des résultats aux changements de paramètres de prix ou de coût comme au poids accordés à chacun des objectifs. Ceci peut soulever des questions avec un retour aux exploitants.

IV. QUELQUES PERSPECTIVES POUR L'OPERATION ELE105

IV.1. Discussion sur le système de décision

L'émergence de normes environnementales dans les soutiens accordés au développement agricole s'inscrit dans le cadre d'un objectif de développement durable des activités agricoles comme de préservation du milieu naturel. Ils résultent aussi d'une prise de conscience par la société de la fragilité des ressources qui soutiennent la production agricole comme du danger de modèles trop productivistes. Cependant, la durabilité effective de l'agriculture (prise au sens large avec le milieu) va dépendre des formes d'intégration de ces normes par les producteurs et de leurs réponses. A priori, une multitude de facteurs interviennent sur les décisions des éleveurs. On peut citer la prise de conscience personnelle de l'éleveur ou de l'agriculteur ou sa représentation de la ressource et de son potentiel, l'importance des aides dans la viabilité économique de l'exploitation mais aussi la pression sociale ou institutionnelle extérieure. Dès lors dans le cadre d'une recherche de rentabilité, le choix entre modifier la gestion sur son exploitation pour répondre aux normes et bénéficier de l'aide ou abandonner les aides va dépendre d'une analyse coût/bénéfice pour chacune des options. Dans le cadre d'un souci intériorisé par le producteur de préserver son environnement (que ce soit pour l'avenir de ses enfants ou par motivation personnelle), la préservation du milieu devient une composante de l'objectif de l'éleveur et les aides un soutien à la viabilité économique de l'exploitation. En fait il existe dans la réalité un continuum entre ces deux cas extrêmes. La réalité montre une articulation complexe entre le souci d'une gestion durable du milieu et la viabilité économique. En outre, la pression sociale ou institutionnelle extérieure que ce soit la nécessité de produire suffisamment pour rester membre d'un groupe de producteurs ou le risque d'isolement par refus de coopérer dans la gestion de l'environnement constitue des barrières ou frontières dans le processus de décision qui limitent implicitement ou explicitement le champs d'action des agents.

Pour comprendre le processus de décision des producteurs, s'ajoutent aux objectifs économiques (viabilité) et environnementaux (durabilité) des objectifs sociaux, qui prennent parfois une dimension complexe : l'imitation d'un voisin, l'arrivée d'un fils qui explique une stratégie soit d'accumulation hâtive soit de stabilisation de l'appareil productif, le besoin de se démarquer, etc. Ainsi, on s'éloigne progressivement de la simple maximisation d'un objectif de revenu, même si toute décision sera prise de façon à ne pas mettre en péril l'exploitation. Aujourd'hui, comprendre ces facteurs de décisions devient un enjeu fondamental pour approcher les mécanismes d'adoption technologique. L'expérience montre que nombre de technologies ou mode de gestion étudiées et testées reste peu adopté, voire parfois mal adopté. Les raisons sont de plus en plus recherchées dans les modes de représentation soit du processus productif soit de l'innovation technique ; ces modes de représentation peuvent

dépasser l'exploitation. A savoir ces représentations sont bâties sur un corpus d'expérience personnelle et partagées comme de son interprétation. Comprendre ces mécanismes de représentation peut aider à décortiquer les freins comme les moteurs de l'adoption en vue d'améliorer la production. Cette compréhension du système de décision des agents par rapport à un changement est aussi au cœur du conseil technique.

Ainsi, se dessinent différentes pistes méthodologiques qui seront amenées à se croiser :

- une approche interactive bâtie sur le dialogue qui devrait permettre de faire révéler les déterminants du processus de décision par rapport à une technologie ou plus généralement un conseil → cette approche pourrait être formalisée à l'aide d'outil de dialogue comme les Systèmes Multi-Agents ;
- l'utilisation du modèle de programmation mathématique en exploitation pour comprendre les écarts entre les décisions simulées, dans le cadre d'une optimisation, et les décisions réelles.

Ces deux approches se croiseront pour affiner les objectifs des éleveurs (en tant que moteurs du processus de décision) et leurs mécanismes de réaction face à un changement ou une technologie.

Lors des discussions conduites sur l'utilisation du modèle comme outil de compréhension des systèmes, s'est posée la question de la généralisation de l'outil à l'ensemble des exploitations représentées dans les types. En effet, l'ajustement du modèle sur une exploitation pose aujourd'hui des questions sur sa validité pour représenter l'ensemble des exploitations du type représenté. Il serait dès lors intéressant de tester chaque modèle (représentant une exploitation d'un type donnée) sur les autres exploitations du type et peut être de simplifier le modèle pour gagner en représentation globale. Ainsi a été évoqué l'idée d'un stage d'un étudiant de l'Université de la Réunion qui serait encadré par M. Gousseff au CIRAD et Mr Croissant à l'Université.

IV .2. Discussion sur le système bio-technique

Pour les coefficients techniques utilisés dans le calcul des indicateurs relatifs à la gestion azotée, on a bien souvent utilisé les coefficients azotés calculés dans les zones tempérées. Or le relief, le climat comme les systèmes d'alimentation sur graminées tropicales peuvent modifier les fonctions physiologiques des animaux et entraîner des variations dans les quantités produites. En outre, il existe des variations de poids des animaux entre types d'élevage et des variations du taux de protéine du lait selon le mode d'alimentation qui peuvent modifier sensiblement les résultats du bilan.

Dans notre bilan, on ne tient pas compte des importations ou des exportations de matière organique qui résultent de l'achat ou de la vente de fumier ou du lisier, qui sont des pratiques courantes chez certains éleveurs. Or, une approche plus approfondie des entrées et des sorties d'azote conduites auprès de 17 exploitations à La Réunion (Gousseff *et al.*, 2002) révèle que les sorties d'azote par l'exportation de lisier ou de fumier peuvent être importantes pour certaines exploitations et améliorent grandement l'efficacité azotée.

En outre, le lisier et/ou le fumier constituent des matières fertilisantes non négligeables pour le sol. Des études conduites en Europe sur longue période montrent que « *le compost de fumier, utilisé en amendement, à raison de 10 à 20 tonnes par ha, comparé à l'absence de fumure ou au recours à une fertilisation minérale classique dans les conditions locales, conduit -après 18 ans d'essais- à observer un piégeage supplémentaire de C, estimé à 1-1.1*

tonnes par ha » (Limbourg, 2001, cité par Lecomte *et al.*, 2003). Dans le modèle, les options de fertilisation résultent d'un compromis entre les recommandations de l'AFP et les pratiques des producteurs. Ces normes s'appliquent pour les décisions de replantation et après chaque coupe. Les quantités de fertilisant varient donc selon le nombre de coupes qui est alors endogène. Ce nombre de coupes va varier en fonction des besoins en protéines et énergie des animaux (plus on augmente le nombre de coupes, plus la valeur protéique est élevée) et des coûts de collecte en heures de mécanisation, de travail et de fertilisants. Or, pour tenir compte des phénomènes de substitution entre la fertilisation organique et la fertilisation chimique, il serait nécessaire d'introduire un coefficient de variation de la qualité des prairies dans le temps et d'introduire les nouvelles options relatives à une fertilisation organique. Aussi les stratégies de gestion de l'azote deviennent complexes et impliquent de fortes collaborations pluridisciplinaires.

Si le modèle représente un outil utile dans une démarche de compréhension des choix techniques et économiques des éleveurs compte tenu de leur système, seule une approche relativement fine des mécanismes biologiques peut permettre de calculer de manière précise un bilan.

On voit se dessiner la nécessité de coupler des approches :

- D'une part, un système à compartiment qui prenne en compte les différentes options techniques possibles et leur effet sur le compartiment suivant. Par exemple, la réduction de l'excès d'azote en PDIN et PDIE dans les rations a un effet notoire sur le rejet d'azote uréique de l'animal et donc la teneur en azote des effluents. De même, le recyclage des effluents en prairie après compostage peut permettre de diminuer la facture d'engrais et le bilan des entrées d'azote minérale, etc.
- D'autre part, l'introduction de ce panel d'options techniques dans le modèle de programmation mathématique permettrait d'approcher avec les méthodes de programmation multi-critères ou multi-objectifs les solutions les plus efficaces pour chaque type d'exploitation i.e. les solutions qui tiennent compte de la viabilité des exploitations et durabilité des systèmes.

En outre, les flux d'azote entre les différents compartiments de l'exploitation (animal, fosse, surface fourragère) s'inscrit dans le temps avec des effets différenciés à court et long terme sur un espace à géométrie variable selon les conditions d'échanges économiques et sociaux. Ces éléments nécessitent parfois d'autres échelles d'analyse.

IV.3. Développement d'un modèle régional

Dans le cadre du modèle exploitation, nous disposons d'un ensemble de solutions optimales, correspondant aux différents types d'exploitations représentées à La Réunion. Pour chaque exploitation, on suppose que chacun cherche à maximiser une fonction, tout en satisfaisant une série de contraintes concernant la terre, la main d'œuvre, la consommation et les liquidités, etc. Cependant, pour certains facteurs, l'accès est limité au niveau de l'île comme le foin de chloris, la terre, le potentiel humain et technique. Il existe aussi des mécanismes d'échange ou de compensation entre zones pour certains biens comme la paille de canne pour l'alimentation des animaux ou encore les produits azotés pour les cultures.

Dès lors, les modèles d'exploitation tels qu'ils sont présentés ci-dessus permettent difficilement de comprendre les décisions des producteurs si l'on ne tient pas compte des imperfections du marché de location des terres, du marché du travail agricole au niveau

régional, de l'accès conditionné, limité à certains intrants, etc. Approcher les questions de gestion des effluents dépasse forcément l'exploitation et implique la prise en compte des offrants (les éleveurs dans les Hauts) et des demandeurs (comme les canniers dans les Bas). Dans des zones isolées, la main d'œuvre agricole peut faire défaut durant les saisons ou périodes de travaux agricoles en raison de la faible valeur du salaire agricole, de la faible attirance de la zone ou du secteur. La location de terre est forcément contrainte par les donations en location qui proviennent des exploitations du secteur ou d'autres secteurs. Il est rare que les exploitants veuillent acheter ou louer des terres au delà d'un périmètre compte tenu des coûts de transport et parfois d'organisation, que demande un trop grand éloignement. Ce cadre est particulièrement vrai pour des zones isolées ou confrontées à une forte variabilité des rendements et des résultats.

Dans ce cadre on rejoint bien la définition d'un modèle sectoriel où se confrontent l'offre et demande pour certains facteurs, comme le travail, la terre. De même en matière d'approvisionnement en fourrages comme le foin de chloris, la paille de canne, les éleveurs peuvent être confrontés à une pénurie régionale ou à un coût trop élevé lié à une compétition en période sèche entre éleveurs laitiers mais aussi une concurrence ou compétition inter secteurs, avec par exemple le secteur bovin viande. Il existe bien des distorsions régionales. Par contre, pour d'autres facteurs comme les concentrés, les éleveurs sont protégés de la loi des prix sur le marché national ou international en raison des réglementations de prix régionales. Ces éléments montrent l'intérêt d'une approche relativement fine et spatialisée des conditions d'offre et de demande pour chaque type d'intrants et/ou de produits. On ne peut parler à proprement parler d'échange entre types d'exploitations dans le sens où ces échanges n'impliquent pas forcément et uniquement les agents du secteur laitier.

Ainsi ces interactions entre offre et demande vont influencer les coûts d'accès aux intrants, la quantité disponible par exploitation mais aussi le coût d'opportunité des facteurs fixes comme la terre ou facteurs vivants comme les animaux reproducteurs. Aujourd'hui, l'augmentation du cheptel laitier au niveau régional peut entraîner une augmentation du coût alimentaire des animaux (pour suppléer à la baisse du disponible de fourrage) avec une baisse de rentabilité de l'élevage, mais aussi entraîner une augmentation de prix de la rente foncière en raison des problèmes de pénurie de fourrages et de la compétition avec d'autres secteurs (élevage allaitant, urbanisme, tourisme, etc.).

Le modèle régional est donc une approche intermédiaire d'équilibre partiel, qui permet de tenir compte des contraintes de disponibilité régionale pour certains facteurs afin de visualiser l'évolution de l'ensemble de la région et de mesurer les répercussions de changements extérieurs sur l'emploi et l'environnement, par exemple, aussi bien à l'intérieur des diverses exploitations qu'au niveau régional. Il s'agit donc d'avoir une représentation relativement fine : 1) de la structure des exploitations, des comportements et des stratégies des acteurs, et 2) des relations entre unités de production au niveau régional.

Cependant les limites de la région sont parfois floues. Si pour les produits alimentaires issus de la canne, on peut parler d'une offre/demande à l'échelle régionale (L'Ile de La Réunion), notamment entre les Hauts et les Bas, le marché de la terre que ce soit pour la location ou l'achat est beaucoup plus complexe en raison des conditions naturelles, ce qui crée des marchés ou échanges de facteurs sur des espaces à géométrie variable. Il s'agira ici davantage d'essayer de comprendre les effets locaux d'un partage des ressources compte tenu des contraintes locales.

Ce modèle régional doit permettre de raisonner des innovations technologiques ou des changements à l'échelle de la filière laitière ou de la région. Par exemple, les possibilités d'échange de paille de canne et d'effluent entre les élevages laitiers, largement installés dans les hauts, et les canniers, installés dans les Bas, conduisent à raisonner ces alternatives au niveau régional. De même certains enjeux de la filière, relatifs au volume laitier ou à la gestion d'une aide par exemple, conduisent à des analyses régionale.

Ainsi le modèle régional pourrait s'avérer être un outil intéressant pour alimenter le débat voire les négociations sur les formes d'échanges des ressources (produits dérivés de la canne, effluent, voire foncier) entre différents acteurs régionaux concernés.

Ce travail serait conduit en partie par un chercheur accueilli dans le cadre du système de bourse Marie-Curie qui vise les échanges de connaissances entre instituts européens.

V. CONCLUSION

L'opération ELE 105 avait été axée sur l'analyse du comportement des exploitants et ce à l'échelle de l'exploitation. Aujourd'hui, trois axes semblent se dessiner :

- un zoom plus approfondi sur le processus de décision en incorporant le système de représentation des éleveurs,
- un zoom sur le processus bio-technique concernant la gestion des flux d'azote qui va permettre d'approfondir les questions de durabilité des systèmes sur un exemple qui est la gestion azotée,
- Une approche plus régionale pour prendre en compte les questions d'échanges, de compensation, de compétition sur les facteurs à l'échelle de la filière et de la région.

VI. PERSONNES RENCONTREES

Nom	Fonction
EVENAT Y.	Directeur SICA Lait
GILDA FERTIL	URCOOPA
C. LE PETIT	SICA Lait
Ph. LECOMTE	CIRAD Pôle Elevage- La Réunion
M. GOUSSEFF	CIRAD Pôle Elevage- La Réunion
E. TILLARD	CIRAD Pôle Elevage- La Réunion
J-PH. CHOISIS	CIRAD Pôle Elevage- La Réunion

VII. BIBLIOGRAPHIE

- Alary V., 2003, Suivi de l'opération : Appui à l'Opération : « Modélisation économique des exploitations bovines à La Réunion », Mission d'appui méthodologique, Opération Plan Etat Région : « Modélisation économique des exploitations bovines à la réunion », CIRAD Pôle Elevage/ Région, 17-27 juin 2003, Rapport de mission –EMVT N° 2003-, Montpellier-France, 32 p.
- Gousseff M., Grimaud P., Lecomte P., 2002. Approche de l'incidence environnementale des systèmes de production laitiers sur l'île de la réunion. Rencontres sur les Recherches autour des Ruminants, 9,122.
- Ignizio J.P., 1978. A review of Goal Programming : A Tool for Multiobjective Analysis. J. Opl. Res. Soc., 29(11). Pp. 1109-19.
- Lecomte P., Boval M., Guerin H., Ickowicz A., Hughenin J., Limbourg P., 2002. Carbone et élevage de ruminants. Source
- Romero C., Rehman T., 1989. Multiple Criteria Alalysis for Agricultural Decisions. Elsevier, Amsterdam, 257 p.
- Stilmant D., Fabry L., Parache P., Lecomte P., 2000. Appraisal and control of environmental incidence of dairy farming systems in East Belgium Normative vs farm practices approach.